



VAKOLA

03450 OLKKALA
913-46211

VALTION MAATALOUSKONEIDEN TUTKIMUSLAITOS
STATE RESEARCH INSTITUTE OF ENGINEERING IN AGRICULTURE AND FORESTRY

VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS No 35

KAUKO TURTIAINEN

PIENPUUHAKKURIT

SMALL-SIZED WOOD CHIPPER

VIHTI 1983

VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS No 35

KAUKO TURTTAINEN

PIENPUUHAKKURIT

SMALL-SIZED WOOD CHIPPERS

VIHTI 1983

ISSN 0506-3841

SISÄLLYSLUETTELO

Sivu

TIIVISTELMÄ

SAMMANFATTNING

CONCLUSIONS

1.	JOHDANTO	1
2.	AINEISTO JA MENETELMÄT	2
3.	TULOKSET	7
3.1	Tehontarve	7
3.2	Vääntömomentti	14
3.3	Melun voimakkuus	24
3.4	Hakkeen palakoon jakautuma	26
3.5	Hakkeen heittoetäisyys	28
3.6	Tuotos	29
3.7	Teräpyörän massahitautusmomentti	31
3.8	Ergonomia ja työturvallisuus	31
4.	TULOSTEN TARKASTELUA	33

KIRJALLISUUTTA

TIIVISTELMÄ

Hakkureiden tehon tarve kasvaa haketettavan puun läpimitan kasvaessa. Tehon tarpeeseen vaikuttavat edelleen terien säätö, puun syöttönopeus ja teräpyörän nopeus. Pienpuuhakkureiden tehon tarve on vähintään 40...50 kW.

Hakkureiden vääntömomenttiarvoihin vaikuttavat samat tekijät kuin tehon tarpeeseenkin. Traktorin voimansiirron kestävyys kannalta suuri teräpyörän massahitausmomentti ja verraten pieni vääntömomenttiarvojen vaihtelualue ovat eduksi. Nämä ominaisuudet saavutetaan kun hakkurin teräpyörän paino, erityisesti sen kehäpaino, ja sen nopeus ovat suuret. Ylikuormitusten estämiseksi nivelakselissa on syytä käyttää ylikuormitussuojaa.

Hakkurit synnyttävät voimakkaan melun, se vaihtelee 90...120 dB(A). Melu voimistuu puun paksuuden kasvaessa. Haketustyöntekijän pitää käyttää kupumallisia kuulonsuojaimia. Hakkeen heittoetäisyys vaihtelee 3...11 m. Hakkurit, joissa on erillinen hakkeen puhallin, heittävät hakkeen kauimaksi.

Hakkeen palakokoon vaikuttavat ratkaisevasti hakkurin rakenne ja teräpyörän terien säätö. Rumpuhakkurit tekevät pientä haketta, 2...9 mm; laikkahakkurit tekevät suurempaa haketta, 10...35 mm, ja kartioruuvihakkurit palahaketta, n. 70 mm. Pienpuuhakkurit tekevät karsitusta puusta melko hyvää, tasalaatuista haketta; sitävästoin karsimattomasta puusta tehdyssä hakkeessa on tikkuja ja oksia. Tämän vuoksi hakkureita tulee edelleen kehittää.

Haketustyön tuotos, tehollista työtuntia kohden, riippuu hakkeen koosta, puun paksuudesta ja oksaisuudesta sekä puun syöttönopeudesta. Tuotos vaihtelee 10...30 hakekuutioon tehollisessa työtunnissa.

Ergonomian ja työturvallisuuden kannalta syöttösuppilon pitää olla sopivalla korkeudella. Syöttösuppilossa tulee olla puun takaiskusuojus ja pikapysäytin työturvallisuuden vuoksi. Teräpyörä pitää voida lukita terien säädön ajaksi. Syöttölaite helpottaa ja nopeuttaa työntekoa sekä tasaa hakkeen kokoa.

SAMMANFATTNING

Flishuggarnas effektbehov ökar när flisträdets diameter ökar. Effektbehovet beror vidare på knivarnas justering, trädets inmatningshastighet och huggskivans hastighet. Klenvirkesflishuggarna erfordrar åtminstone en effekt av 40...50 kW.

Vridmomentets storlek påverkas av samma egenskaper som påverkar flishuggarnas effektbehov. Det är till fördel för hållbarheten av traktorns kraftöverföring att massatröghetsmomentet av huggskivan är tillräckligt stort och vridmomentets variation är relativt liten. Dessa egenskaper fås när vikten av flishuggens huggskiva speciellt dess omkretsvikt och huggskivans hastighet är tillräckligt stora. Överbelastning av traktorns kraftöverföring kan förhindras genom att montera överbelastningsskydd på kraftöverföringsaxeln.

Flishuggarnas buller varierar mellan 90...120 dB(A). Bullret ökar när diametern av trädet ökar. Arbetaren skall använda hörselskydd under arbete. Kast avståndet av flisen varierar mellan 3...11 m. Flishuggarna, som har separat fläkt, kastar flisen längst. Flisens storlek beror på flishuggens konstruktion och knivarnas justering. Cylinderhuggarna gör fin flis av längden 2... 9 mm, skivhuggarna gör i någon mån grövre flis av längden 10...35 mm, och koniska skruvhuggarna stycke flis av längden ca 70 mm. Klenvirkesflishuggarna gör av kvistat träd tämligen god flis, däremot finns i flisen, som har gjorts av okvistat träd, i någon mån stickor och kvistar. Därför skall flishuggarna vidareutvecklas.

Produktionen av flisningsarbete per effektiv timme beror på flisens storlek, virkets diameter och kvistighet samt matningshastighet av trädet. Produktionen varierar mellan 10...30 fliskubikmeter per effektiv timme.

Från synpunkt av ergonomi och skydd i arbete skall matningstratten vara på lämplig höjd från marken. I matningstratten måste vara bakslagskydd och en snabb nödstoppanordning. Huggskivan skall kunna låsas för knivarnas justering. Hydraulisk eller mekanisk matningsanordning underlättar och försnabbar arbetet och jämnar flisens storlek.

CONCLUSIONS

The power requirement of the chippers is increasing when the diameter of trees to be chipped is increasing. Furthermore the power requirement is depending on the knife adjustment, feeding speed and rotational speed of the cutter wheel. Generally the required power range is 40...50 p.t.o. kW.

The torques of the chipper is also depending on the same factors as to the required power. For the tractor power transmission durability the chipper cutter wheel moment of inertia should be high enough and the torque variations should be sufficiently small. These are obtained when the chipper cutter wheel mass, particularly on its periphery, and the cutter wheel revolving speed are high enough. The tractor transmission overloading can be avoided with using overload clutches at the power transmission shaft.

Noise caused by chippers varies between 90...120 dB(A). Increasing the tree diameter also increases the noise. Workers must wear ear protectors at work. The chip throw distance varies between 3...11 m. With chippers having a separate chip blower the distance is at its longest.

The chip size depends on the chipper construction and knife adjustment. Drum type chippers produce fine chips, 2...9 mm in length, disk-type chippers do a little rougher chip, 10...35 mm and cone screw chippers do piece chips, about 70 mm in length. Chippers for small tree make quite good chip of delimbed trees. In chips made of non-delimbed trees there are some sticks and twigs.

Therefore the chippers need further development. The effective output in chipping depends on the chip size, tree thickness and limbness and on the feeding speed, too. The effective output variation range is 10...30 m³ of chips.

For ergonomy and safety at work the tree feeding funnel must locate at suitable height from the ground. It must be equipped with a tree kick back guard and a emergency stop-device. For knife adjustment the cutter wheel must have means for preventing it from revolving, a locking device. Hydraulically or mechanically operated feeding mechanism eases and speeds chipping work and makes even chip size.

1. JOHDANTO

Öljyn hinnan voimakas kohoaminen 1970-luvun alkupuoliskolla vaikutti siihen, että yhteiskunta ryhtyi suosimaan ja tukemaan kotimaisten polttoaineiden käyttöön siirtyjiä. Valtio ja kunnat alkoivat myöntää maatalojen rakennusten energiataloudellisiin investointeihin lainaa enintään 60 % ja avustusta enintään 20 % (ANON. 1980).

Metsäriikkaan maamme perinteinen lämpöenergian lähde on, etenkin maaseudulla ollut, puu. Ennen toista maailmansotaa puuta käytettiin lämmitykseen joko halkoina tai pilkkeinä, mutta 1970-luvulla puun käyttö hakkeena on lisääntynyt. Hakkeen käytön lisääntymistä lämmityksessä osoittaa pienpuuhakkureiden myynnin vilkastuminen. Vuonna 1976 myytiin Suomessa 50 pienpuuhakkuria (ANON. 1976) ja vuonna 1981 yhteensä 660 (ANON. 1981).

Eri merkkisten hakkureiden lisääntyneen käytön ja lukuisien hakkureiden rakennetta ja käyttöominaisuuksia koskevien tiedustelujen johdosta hakkuritutkimus aloitettiin vuoden 1980 alussa maatalouskoneiden tutkimussäätiön myöntämän 30 000 mk tutkimusapurahan turvin, koska laajempaa pienpuuhakkuritutkimusta maassamme ei oltu aikaisemmin tehty.

Tutkimuksen tavoitteina oli selvittää hakkureiden tehontarve, vääntömomenttilarvot, melun voimakkuus, hakkeen heittoetäisyys, hakkeen palakoon jakautuma, tuotos, teräpyörän massahitausmomentti, ergonomia ja työturvallisuus sekä laatia koetusmenetelmät hakkurin eri ominaisuuksien selvittämiseksi. Tutkimuksessa olleiden hakkureiden tekniset tiedot ilmenevät VAKOLAn koetusselostuksesta n:o 1054 (ANON. 1981).

Hakkureiden tekniset mittaukset suoritti insinööri Ari Lemminkäinen. Mittausapulaisina toimivat tutkimusteknikko Väinö Ikonen ja mekaanikko Rauno Merivirta.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkimuksessa olivat markkinoidemme kaikki tavallisimmat maataloustraktorikäyttöiset pienpuuhakkurit: Bruks 722 MT -laikkahakkuri, Edsby 250 T -laikkahakkuri, Erjo 160 T -rumpuhakkuri, Hakki 200 -laikkahakkuri, HS-500 -rumpuhakkuri, HS-500 HD -rumpuhakkuri, Junkkari HJ 6-2R + SL 6 -laikkahakkuri, Kopo PH-10 -kartioruuvihakkuri ja Taso-laikkahakkuri.

Hakkureiden voimakoneena käytettiin Volvo 2654 -traktoria, jonka moottorin teho oli 103 kW. Mittaukset suoritettiin voimanottoakselin nopeudella 540 r/min; HS-500 -hakkureita mitattaessa voimanottoakselin nopeus oli 1000 r/min. Mittaukset suoritettiin kahdella teräpyörän terien säädöllä. Toinen säätö oli terien säätöalueen puolivälissä ja toinen 3...7 mm edellä mainittua pienempi. Syöttölaitteella varustettujen hakkureiden mittaukset suoritettiin kahdella syöttönopeudella; toinen nopeus oli nopeusalueen puolivälin nopeus ja toinen edellä mainittua jonkin verran pienempi.

Pyörimisnopeus, vääntömomentti ja teho mitattiin samanaikaisesti. Tällöin vääntömomenttianturi oli kiinnitetty traktorin voimanottoakselin ja nivelakselin väliin. Koeputina käytettiin 4 m pituisia karsittuja koivupölkkyjä, joiden läpimitta keskeltä vaihteli 5...20 cm. Mittauksissa puut ryhmiteltiin keskiläpimitan mukaan 7, 10, 13, 16 ja 19 cm luokkiin. Lisäksi mitattiin pölkkyjen latva- ja tyviläpimitat. Kussakin läpimittaluokassa oli 5 koepuuta.

Mittauslaitteet:

- vääntömomenttianturi HBM T 30 FM
- mittavahvistinsarja HBM MD.N.MZ.A7
- piirturi Siemens Elema Mingograf 34

Teho ja vääntömomentti otettiin piirturin nauhalle, josta tulokset, keskimääräinen tehon tarve sekä vääntömomentin huippuarvo, keskiarvo ja vaihtelualue, luettiin tasaisin 20 cm välein; 20 tulosta jokaisesta koepuusta.

Melun voimakkuus mitattiin avoimella kentällä karsittuja koivupölkkyjä haketettaessa ja ilman kuormitusta puun läpimittaluokittain. Mikrofonit, jotka oli suunnattu syöttöaukkoa kohden, oli sijoitettu 1,5 m korkeudelle maasta ja 1 m etäisyydelle syöttöaukon etureunan keskikohdan eteen.

Mittauslaitteet:

- melumittari Brüel & Kjaer Type 2209
- kalibrointilaitte Pistonphone Type 4220

Melun voimakkuus, suurin arvo dB(A), luettiin suoraan melumittarista.

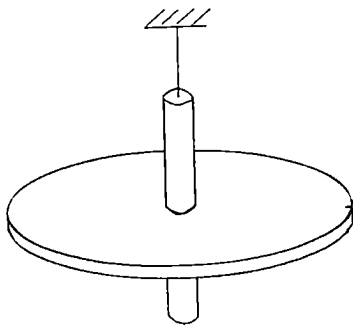
Hakkeen palakoon jakautuma tutkittiin karsitusta lepästä ja karsimattomasta koivusta tehdystä hakkeesta. Koepuiden keskiläpimitta oli n. 10 cm. Kumpaakin puulajia haketettiin yksi hakekuutio.

Hakekuutioon eri osista otettiin 20 kg painoinen näyte, joka seulottiin kahdella verkkoseulalla, joiden reikien koot olivat 5 x 5 mm ja 15 x 15 mm. Kun seulotusta näytteestä tikut ja oksat poimittiin käsin, niin hakenäyte jakautui hakkeen pituuden mukaan seuraaviin neljään kokoluokkaan: alle 5 mm, 5...15 mm, 16...40 mm sekä tikut ja oksat. Ryhmät punnittiin ja niiden suhteelliset osuudet laskettiin.

Hakkeen heittoetäisyyttä mitattaessa haketorven pään hakesuihkua ohjaava läppä oli ylimmässä asennossa. Koepuina käytettiin 4 m pituisia koivupölkkyjä, joiden keskiläpimitta oli n. 10 cm. Heittoetäisyys mitattiin haketorven tyven keskipisteestä hakekasan keskipisteeseen.

Tuotoksen mittaus suoritettiin 4 m pituisia leppäpölkkyjä haketettaessa. Pölkkyjen keskiläpimitta oli n. 10 cm. Ennen mittausta haketettavat puut kasattiin syöttöaukon eteen. Mittauksen aikana yksi henkilö työnsi hakkuriin koepuita keskeytyksittä. Hakesuihku ohjattiin laatikkoon, jonka tilavuus oli $1,5 \text{ m}^3$. Laatikko haketettiin täyteen ja haketukseen kulunut aika mitattiin.

Teräpyörän massahitausmomentin mittaus. Teräpyörä ripustettiin kuvan 1 osoittamalla tavalla metallilankaan. Pyörä pantiin pyörähdysliikkeeseen ja pyörähdykseen kuluva aika T_1 mitattiin.

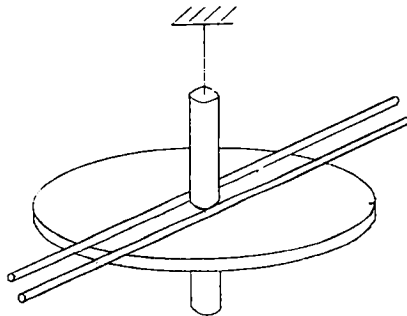


Kuva 1. Metallilangassa riippuva teräpyörä
Figure 1. Cutter wheel hanging in the wire.

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{I_1}{D}}$$

jossa T_1 = pyörähdysaika
 I_1 = teräpyörän massahitausmomentti
 D = langasta riippuva verrannollisuuskerroin,
jota kutsutaan suuntamomentiksi

Teräpyörälle asetettiin lisäpainot, joiden massahitausmomentti tunnettiin, kuvan 2 osoittamalla tavalla. Pyörähdykseen kulunut aika T_2 mitattiin.



Kuva 2. Teräpyörän päällä tankolisäpainot
Figure 2. Rod addition weights on the cutter wheel

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{I_1 + I_2}{D}}$$

jossa I_2 = lisäpainojen massahitausmomentti

$$I_2 = \frac{m \cdot l^2}{12} + \left(\frac{a}{2}\right)^2 \cdot m$$

jossa m = tankojen yhteinen massa

l = tankojen pituus

a = tankojen välinen etäisyys

Yhtälöt ratkaisemalla saadaan teräpyörän massahitausmomentille lauseke

$$I_1 = \frac{T_1^2}{T_2^2 - T_1^2} \cdot I_2$$

3. TULOKSET

3.1 Tehontarve

Hakkureiden tehontarve ilmenee taulukosta 1 ja kuvista 3 a - 1.

Tehontarve kasvaa haketettavan puun läpimitan kasvaessa. Laikkahakkureiden tehontarve 10 cm läpimittaisten puiden haketuksessa on keskimäärin 20...40 kW ja vastaavasti 13 cm läpimittaisten puiden haketuksessa 30...50 kW. Rumpuhakkureiden tehontarve on jonkin verran suurempi kuin laikkahakkureiden; 10 cm läpimittaisten puiden haketus vaatii tehoa keskimäärin 30...50 kW ja vastaavasti 13 cm läpimittaisten puiden haketus 45...70 kW. Karttioruuvihakurin vaatima tehontarve on samaa suuruusluokkaa kuin laikkahakkureiden.

Laikka- ja rumpuhakkureiden väliset erot johtuvat ainakin osittain siitä, että laikkahakkureissa terät leikkaavat puuta n. 45° kulmassa puun pituussuuntaan nähden, kun taas rumpuhakkureissa terät leikkaavat puuta lähes kohtisuoraan puun pituussuuntaan nähden. Toinen tärkeä tehontarpeeseen vaikuttava rakenteellinen seikka on teräpyörän massahitausmomentti. Mitä suurempi massahitausmomentti yleensä on, sitä vähemmän haketus vaatii traktorilta tehoa. Syöttölaite tarvitsee myös jonkin verran tehoa.

Tehontarpeeseen vaikuttavat edelleen terien säätö ja puun syöttönopeus. Erityisesti syöttölaitteettomissa hakkureissa terien säätö vaikuttaa ratkaisevasti tehontarpeeseen, koska terien säätöä suurennettaessa myös syöttönopeus kasvaa. Syöttönopeuden vaikutus tehontarpeeseen nähdään parhaiten hakkureissa, joissa syöttönopeutta voidaan muuttaa. Kun esimerkiksi Junkkari HJ6-2R+SL6 -hakkurissa 10 cm läpimittaista puuta haketettaessa syöttönopeudet olivat 0,25, 0,50 ja 1,0 m/s, niin vastaavat tehontarpeet olivat 24, 34 ja 52 kW.

Tuulukko 1. Tehonvaara ja vääntömomentti
Table 1. Power requirement and torque

Hakkuri Chipper	Terin Blade setting mm	Syöttö- nopeus Feeding speed m/s	Puun lopmitta Stem diameter cm	Tehonvaara Power re- quirement Mean value kW	Vääntömomentti				Tehonvaara Power re- quirement Mean value kW	Vääntömomentti			
					Keskiarvo Mean value Nm	Vaihtelu- Variation Nm	Keskiarvo Mean value Nm	Vaihtelu- Variation Nm		Keskiarvo Mean value Nm	Vaihtelu- Variation Nm		
Bruks 722 HT	6	0,25	7	18	220	240	240	240	20	320	680	680	680
	6	0,25	10	23	360	580	650	650	29	480	840	840	900
	6	0,25	13	35	620	600	920	920	42	760	1260	1260	1400
	6	0,25	15,5	46	746	628	1060	1060	60	1176	1356	1356	1794
Edaby 250 T	6	0,3	7	11	225	100	275	275	24	360	160	160	240
	6	0,3	10	17	330	120	330	330	32	560	160	160	360
	6	0,3	13	32	550	160	550	550	40	706	187	187	800
	6	0,3	17,5	71	1240	210	1345	1345	64	1800	240	240	1700
Ertis 160 T	31	0,2	7	19	370	100	420	420	55	1180	240	240	1300
	3	0,2	10	28	500	120	560	560	75	1600	400	400	2200
	3	0,2	13	48	760	130	765	765	>100				
	3	0,2	18,5	84	842	136	910	910					
Hakk1 200	6	0,25	7	8	130	130	130	130	16	280	240	240	400
	6	0,25	10	11	200	160	280	280	25	400	280	280	540
	6	0,25	13	18	320	200	420	420	34	580	320	320	740
	6	0,25	20	43	733	308	887	887	58	1050	390	390	1245
HS-500	62	0,25	7	22	200	40	220	220	95	260	120	120	320
	6	0,25	10	32	320	120	380	380	95	480	120	120	680
	6	0,25	13	46	480	240	600	600	11	600	520	520	960
	6	0,25	17	73	779	612	1085	1085	75	866	553	553	1142
HS-500 HD	33	0,25	7	22	220	160	300	300	32	340	80	80	380
	3	0,25	10	35	350	120	450	450	58	520	120	120	800
	3	0,25	13	56	591	120	731	731	68	680	120	120	840
	3	0,25	15,5	86	691	120	731	731					
Junkkar1 H26-2H+SL 6	6	0,25	7	16	240	140	310	310	23	400	160	160	480
	6	0,25	10	24	360	160	500	500	33	720	160	160	900
	6	0,25	13	38	580	200	810	810	63	1130	190	190	1225
	6	0,25	15,5	40	700	210	895	895	68	1252	195	195	1350
Kopo PH-10	6	0,3	7	17	300	800	500	500					
	6	0,3	10	24	400	480	640	640					
	6	0,3	13	39	580	720	940	940					
	6	0,3	13,5	41	690	750	1065	1065					
Taso	6	0,4	7	23	380	120	440	440	31	580	140	140	650
	6	0,4	10	32	530	140	600	600	39	800	160	160	1203

1) 3 mm sähköllä hienastetut terät ja 6 mm sähköllä sileät terät.

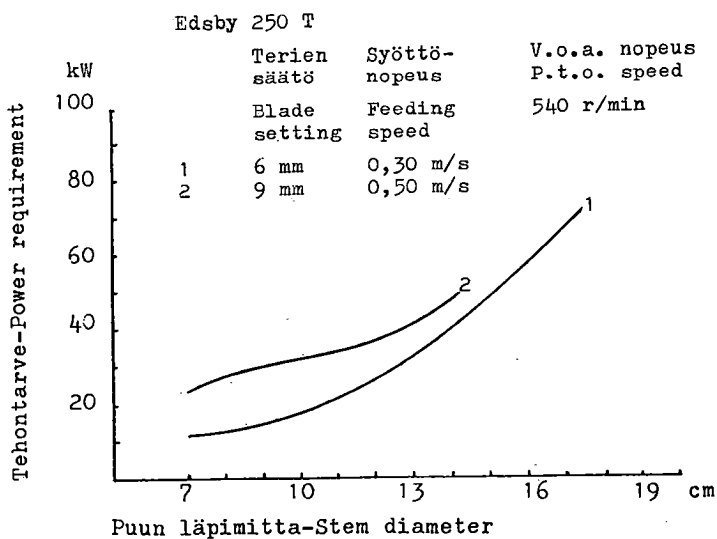
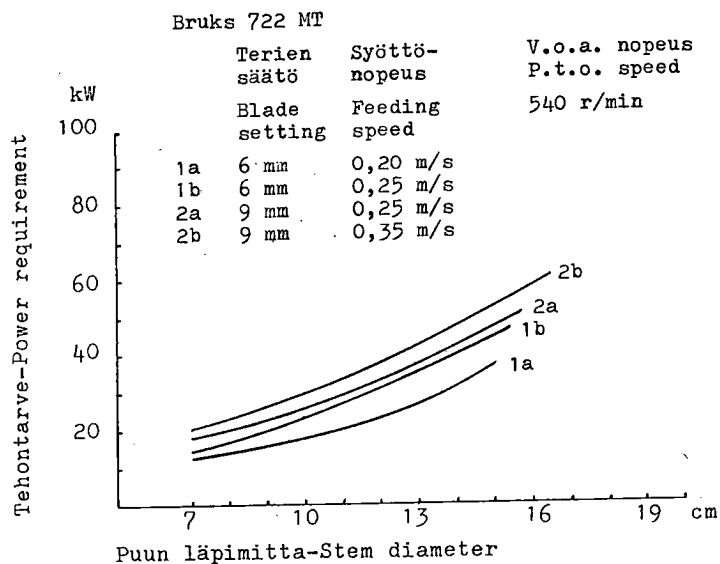
2) 3 mm setting toothed blades and 6 mm setting plain blades.

3) 6 mm sähköllä 20 mm seula ja 11 mm sähköllä 32 mm seula.

4) 6 mm setting, 20 mm sieve and 11 mm setting, 32 mm sieve.

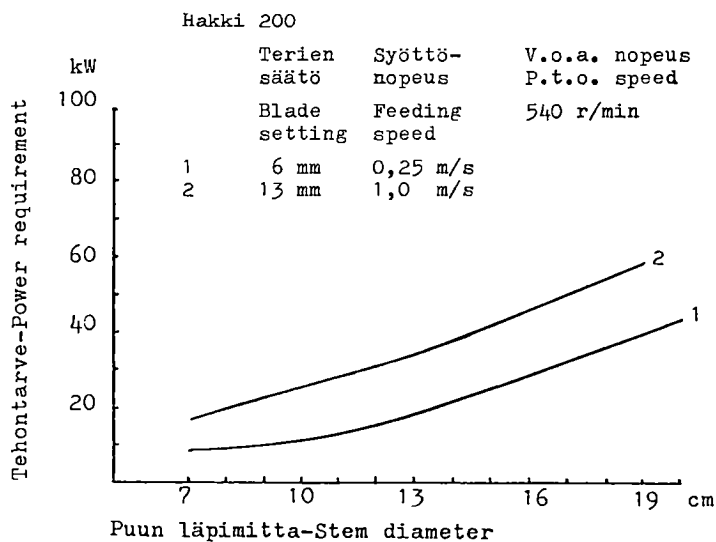
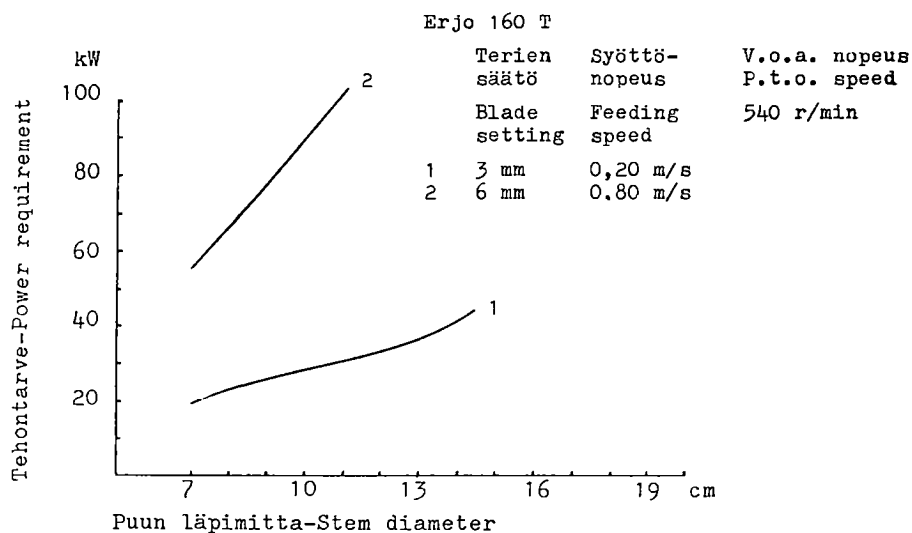
5) 40 mm seula.

6) 40 mm sieve.



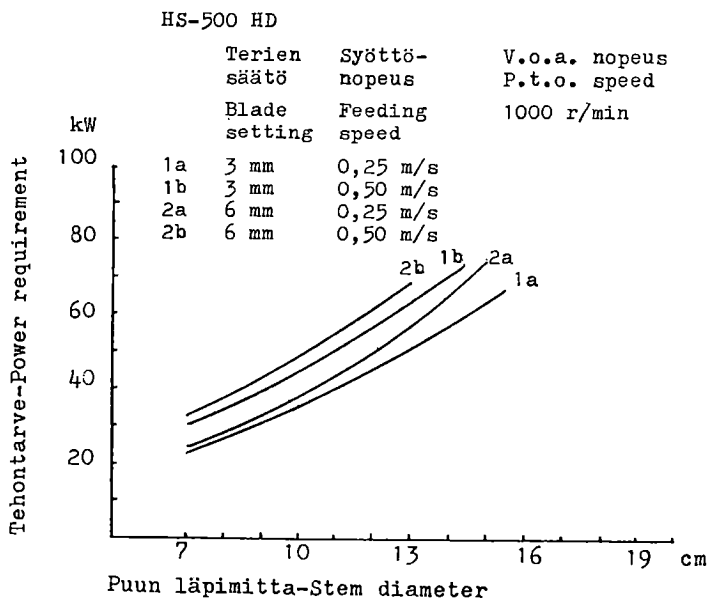
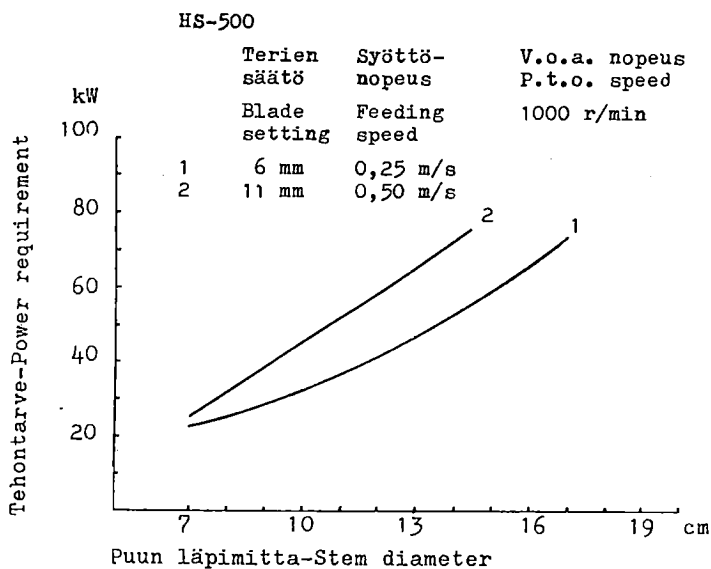
Kuva 3. Keskimääräinen tehontarve puun läpimitan funktiona.

Fig. 3. Average power requirement as a function of stem diameter.



Kuva 4. Keskimääräinen tehontarve puun läpimitan funktiona.

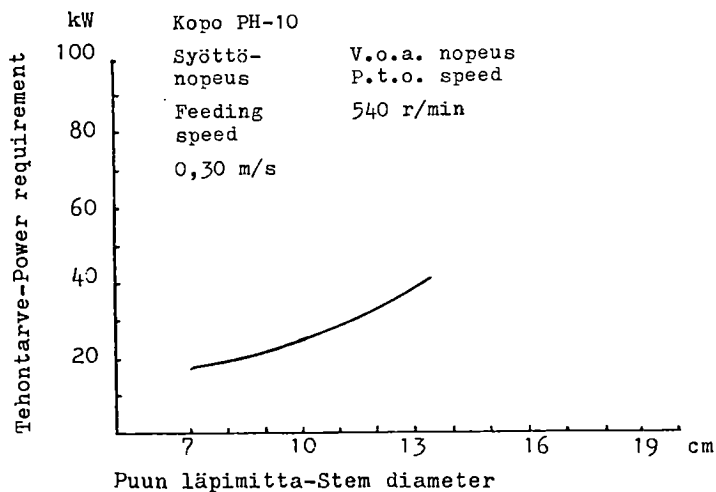
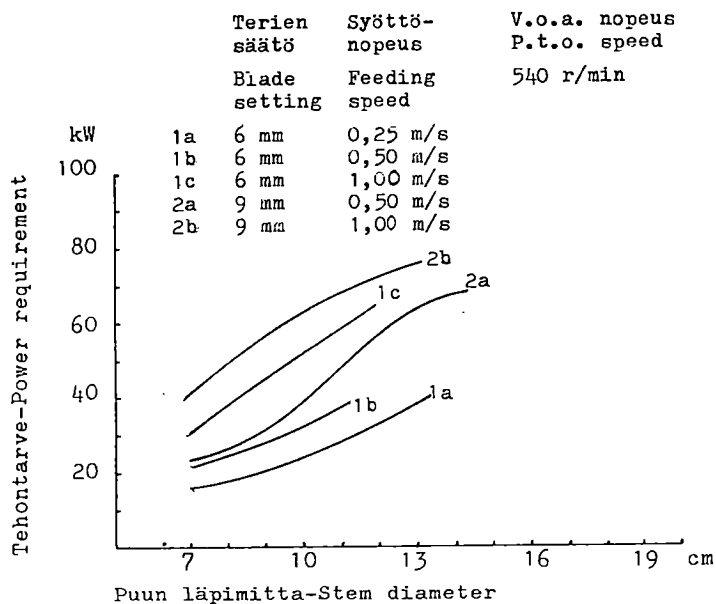
Fig. 4. Average power requirement as a function of stem diameter.



Kuva 5. Keskimääräinen tehontarve puun läpimitan funktiona.

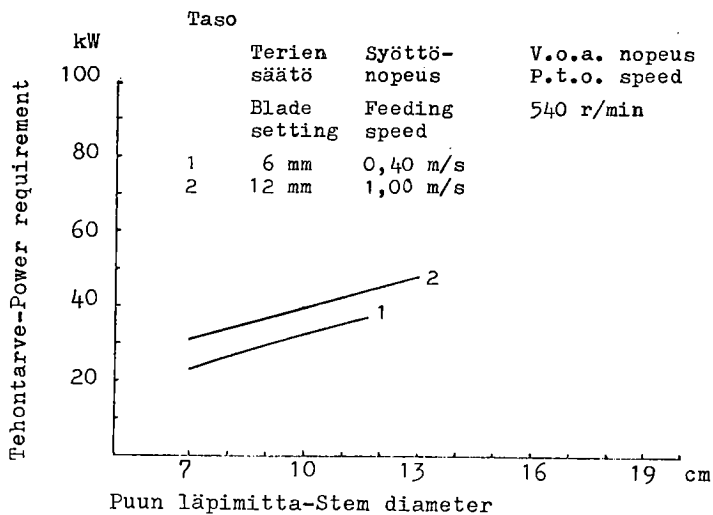
Fig. 5. Average power requirement as a function of stem diameter.

Junkkari HJ6-2R+ SL6



Kuva 6. Keskimääräinen tehontarve puun läpimitan funktiona.

Fig. 6. Average power requirement as a function of stem diameter.



Kuva 7. Keskimääräinen tehontarve puun läpimitan funktiona.

Fig. 7. Average power requirement as a function of stem diameter.

3.2 Vääntömomentti

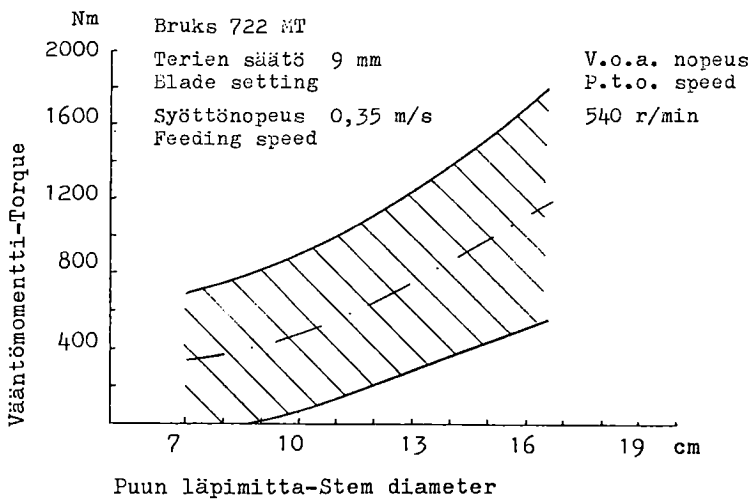
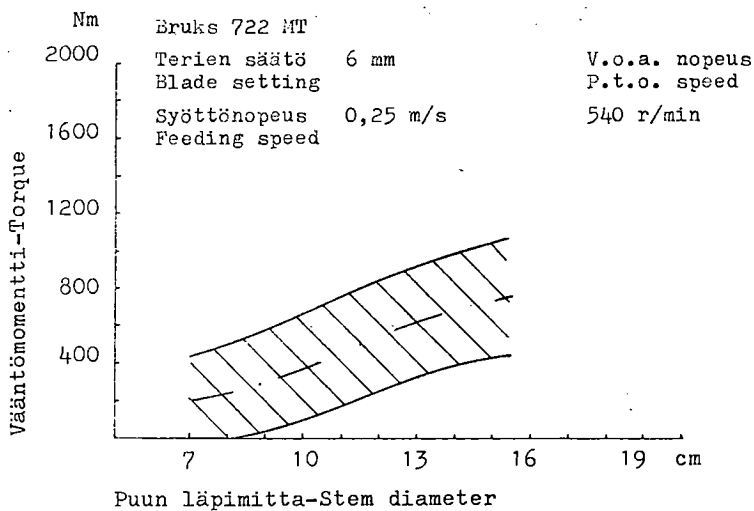
Hakkureiden traktoreilta ottamat vääntömomenttiarvot ilme-nevät taulukosta 1 ja kuvista 8 - 16.

Vääntömomenttiarvoihin vaikuttavat samoin kuin tehontar-peeseenkin teräpyörän terien säätö, puun syöttönopeus ja läpimitta. Lisäksi koneen rakenteellisilla ominaisuuksil-la, teräpyörän massahitausmomentilla ja pyörimisnopeudel-la on selvä vaikutus vääntömomenttiarvoihin.

Hakkureiden vääntömomenttiarvoja tarkasteltaessa havai-taan, että mitä suurempi teräpyörän massahitausmomentti on sitä paremmat vääntömomenttiarvot ovat. Käytännön kan-nalta tämä merkitsee sitä, että hakkuri, jonka teräpyörän massahitausmomentti on riittävän suuri, rasittaa vähemmän voimakoneen voimansiirtoa. Teräpyörän nopeuden lisäys pa-rantaa myös vääntömomenttiarvoja. Seuraavassa pari esi-merkkiä.

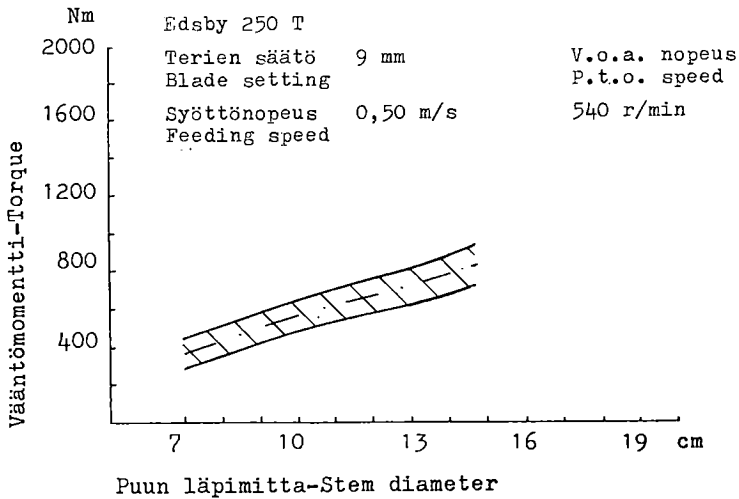
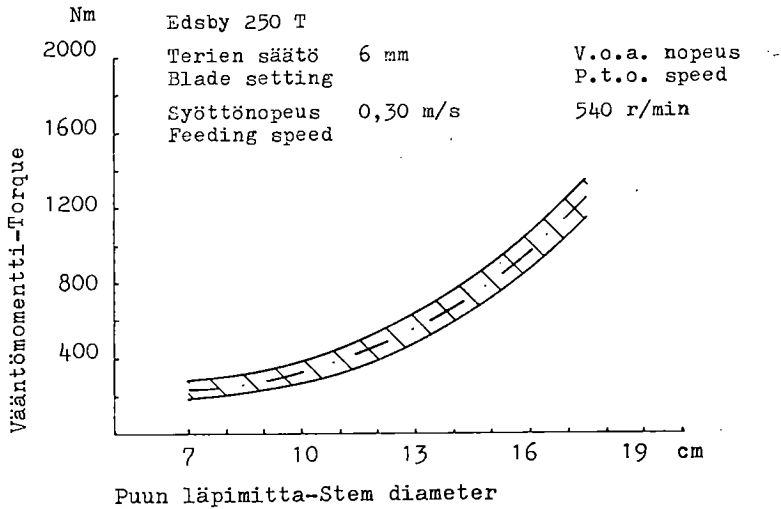
Hakki-hakkurin teräpyörän massahitausmomentti oli verrat-en hyvä, 22,4 kg m². Hakin vääntömomenttiarvot 10 cm paksua rankaa haketettaessa 6 mm terän säädöllä olivat: huippuarvo 280 Nm, keskiarvo 200 Nm ja vääntömomentin vaihtelualue 160 Nm. Kopo-hakkurin teräpyörän massahitaus-momentti oli 1,4 kg m², siis hyvin paljon pienempi kuin Hakin. Kopon vääntömomenttiarvot 10 cm paksua rankaa hake-tettaessa olivat: huippuarvo 640 Nm, keskiarvo 400 Nm ja vääntömomentin vaihtelualue 480 Nm.

Mitä suurempia edellä mainitut vääntömomentin arvot ovat, sitä enemmän voimakoneen voimansiirtoelimet ja nivelakse-li rasittuvat. Traktorin voimansiirron rasittumisen kan-nalta on eduksi mahdollisimman pieni vääntömomentin vaihtelualue; suuri vaihtelualue on haitaksi. Nivelakseleiden sallittu vääntömomentin vaihtelualue on noin kaksi kertaa nimellisarvon suuruinen.



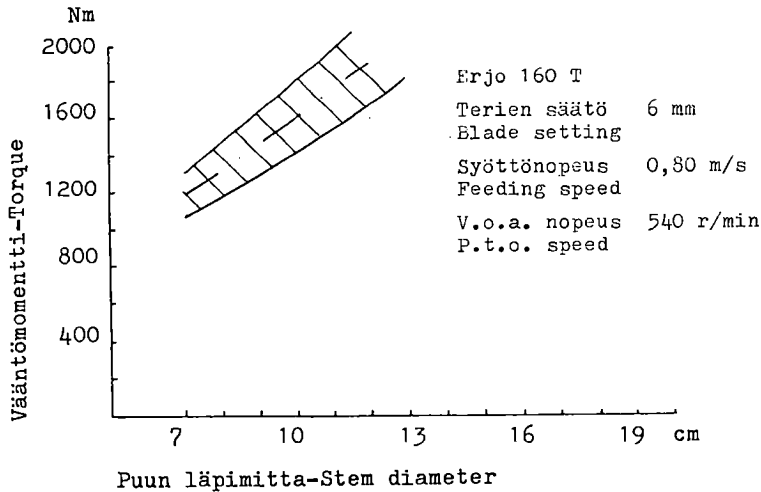
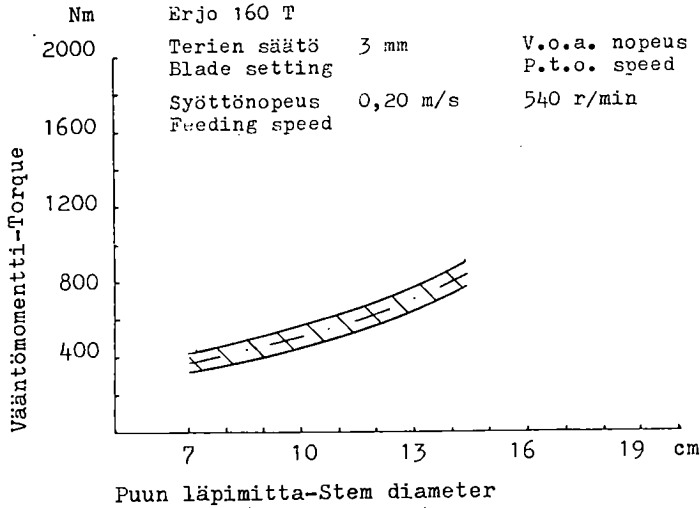
Kuva 8. Vääntömomenttialue ja keskimääräinen vääntömomentti puun läpimitan funktiona.

Fig. 8. Torque range and average torque as a function of stem diameter.



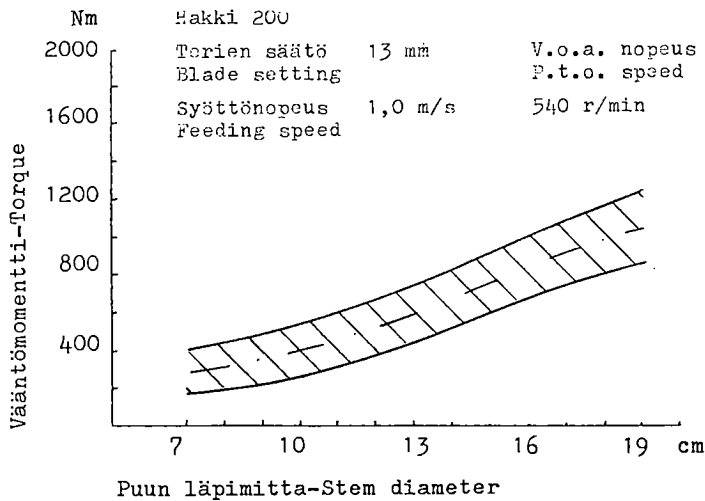
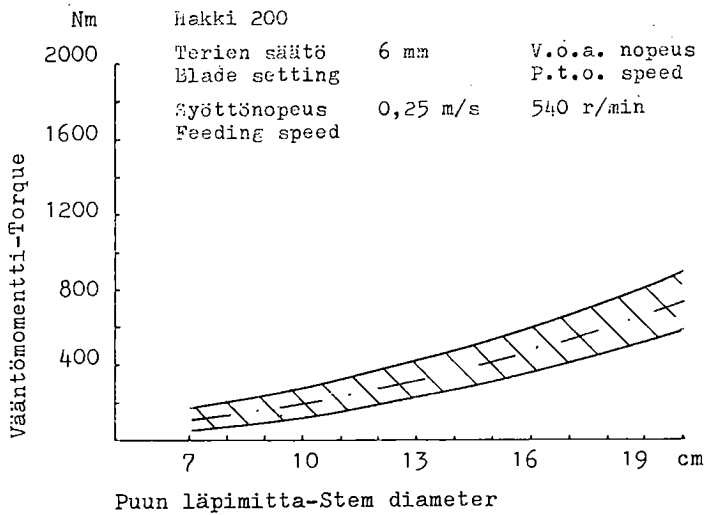
Kuva 9. Vääntömomenttialue ja keskimääräinen vääntömomentti puun läpimitan funktiona.

Fig. 9. Torque range and average torque as a function of stem diameter.



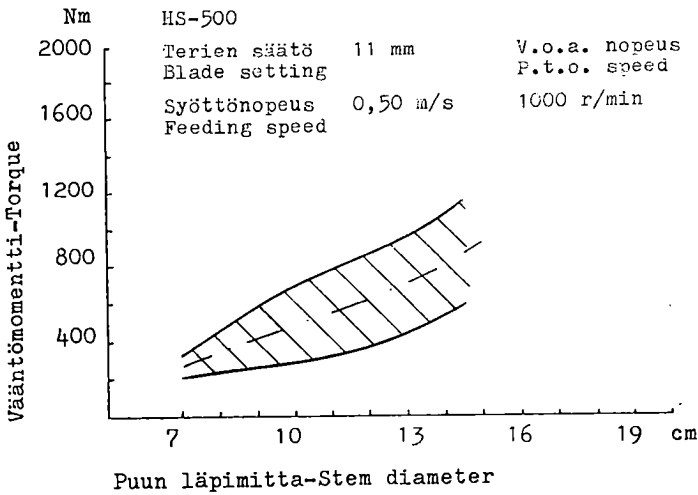
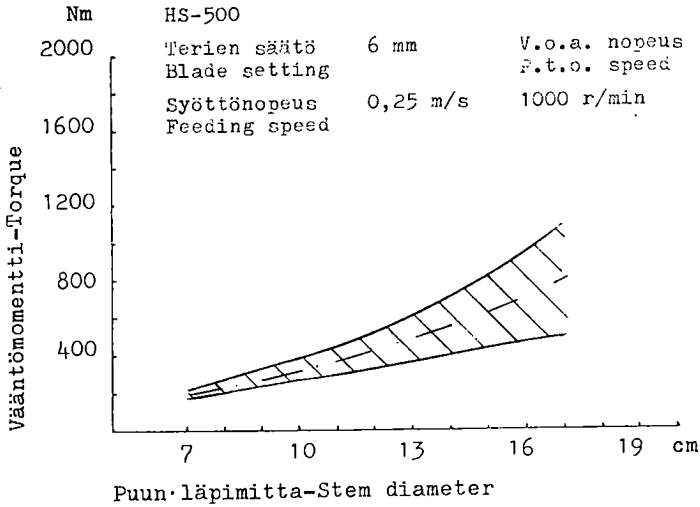
Kuva 10. Vääntömomenttialue ja keskimääräinen vääntömomentti puun läpimitan funktiona.

Fig. 10. Torque range and average torque as a function of stem diameter.



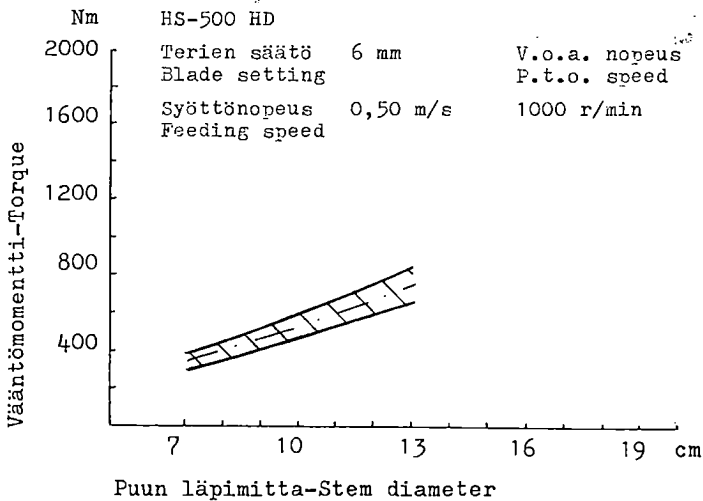
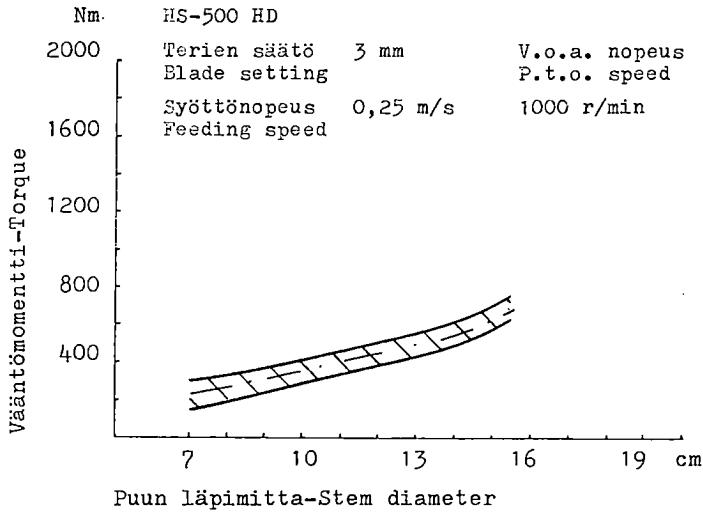
Kuva 11. Vääntömomenttialue ja keskimääräinen vääntömomentti puun läpimitan funktiona.

Fig. 11. Torque range and average torque as a function of stem diameter.



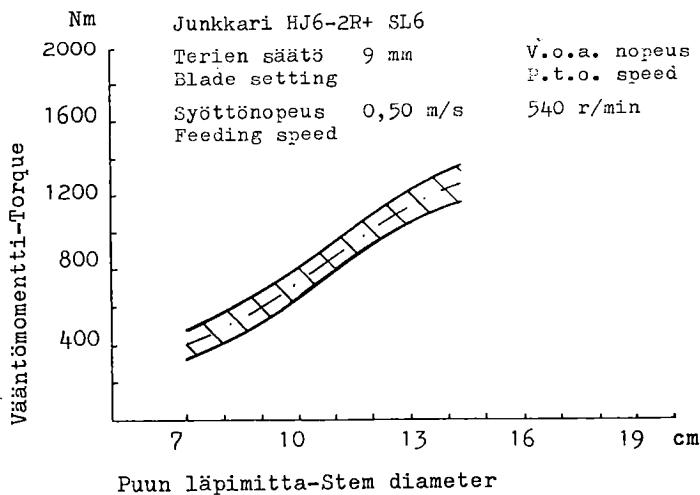
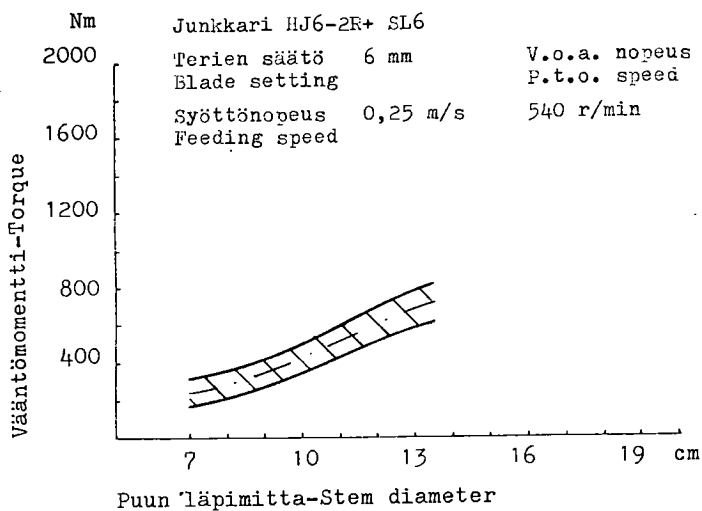
Kuva 12. Vääntömomenttialue ja keskimääräinen vääntömomentti puun läpimitan funktiona.

Fig. 12. Torque range and average torque as a function of stem diameter.



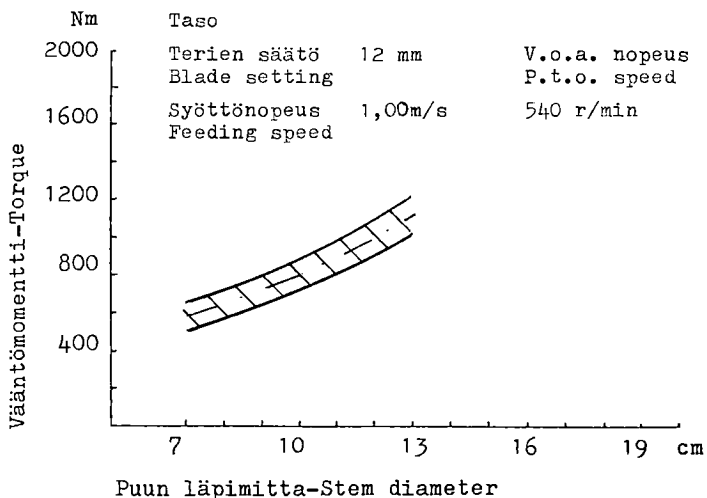
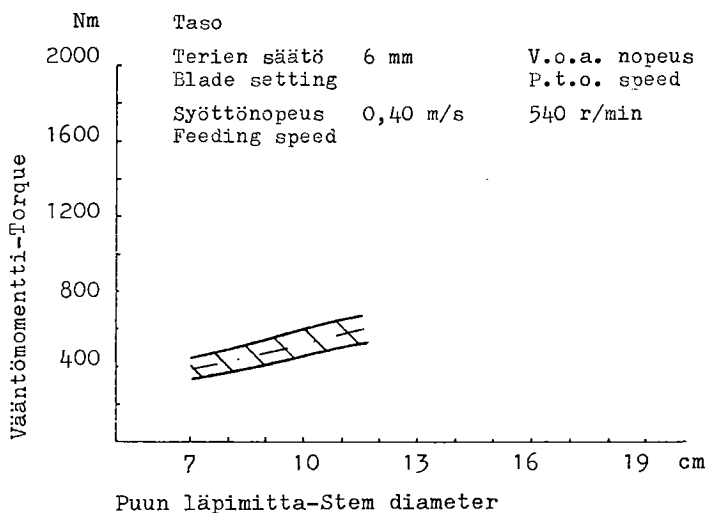
Kuva 13. Vääntömomenttialue ja keskimääräinen vääntömomentti puun läpimitan funktiona.

Fig. 13. Torque range and average torque as a function of stem diameter.



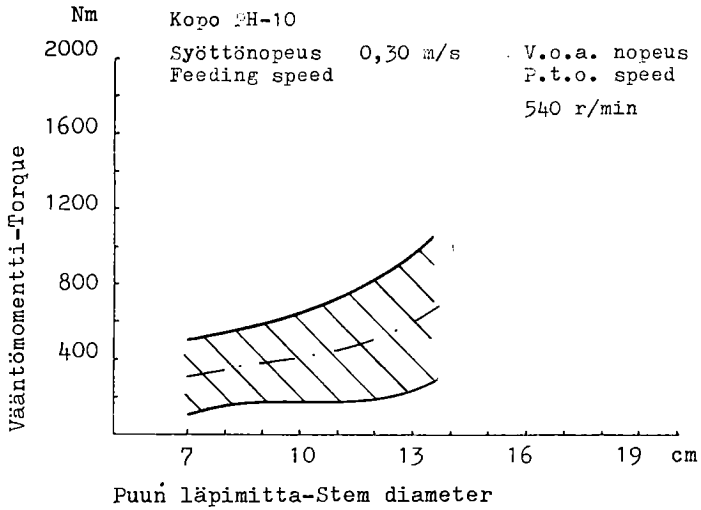
Kuva 14. Vääntömomenttialue ja keskimääräinen vääntömomentti puun läpimittan funktiona.

Fig. 14. Torque range and average torque as a function of stem diameter.



Kuva 15. Väntömomenttialue ja keskimääräinen väntömomentti puun läpimitan funktiona.

Fig. 15. Torque range and average torque as a function of stem diameter.



Kuva 16. Vääntömomenttialue ja keskimääräinen vääntömomentti puun läpimitan funktiona.

Fig. 16. Torque range and average torque as a function of stem diameter.

3.3 Melun voimakkuus

Melun voimakkuus ilmenee taulukosta 2. Tutkittujen hakku-reiden melu on liian voimakas. Haketustyön tekijän pitää käyttää kupumallisia kuulonsuojaimia. Melun voimakkuus kasvaa haketettavan puun läpimitan kasvaessa. Terien säädön ja syöttönopeuden suurentaminen lisäävät melua.

Hakkureiden rakenne vaikuttaa myös meluun. Koneet, joiden syöttösuppilo oli suunnattu hakettajan päätä kohden, synnyttivät voimakkaimmat melut. Samoin syöttölaitteettomissa hakkureissa oli voimakkaampi melu kuin syöttölaitteella varustetuissa hakkureissa.

Kartioruuvihakkurin aiheuttama melu oli pienempi kuin laikka- ja rumpuhakkureiden.

Taulukko 2. Melu
Table 2. Noise

Hakkuri Chipper	Terän säätö Blade setting mm	Syöttö- nopeus Feeding speed m/s	Haketettaessa At chipping			
			Puun läpimitta, cm Stem diameter, cm			Kuormit- tamatta Without load
			7	10	13	
			dB(A)			
Bruks	6	0,25	102	104	105	98
722 MT	9	0,35	104	106	108	96
Edsby 250 T	6	0,30	97	102	106	85
	9	0,50	104	107	110	85
Erjo 160 T	3	0,20	105	108	112	94
	6	0,80	117	120	124	105
Hakki 200	6	0,25	99 [*]	103	107	93
	13	1,00	105	107	109	102
HS-500	6	0,25	107	109	112	95
	11	0,50	111	116	118	98
HS-500 HD	3	0,25	96	98	101	94
	6	0,50	104	105	107	98
Junkkari	6	0,25	106	107	107	103
HJ6-2R+SL 6	9	0,50	107	108	110	102
Kopo PH-10		0,30	100	102	102	84
Taso	6	0,40	115	116	117	109
	12	1,00	116	118	120	108

3.4 Hakkeen palakoon jakautuma

Laikkahakkureiden tekemän hakkeen palakoon suuruuteen vaikuttaa ratkaisevasti terien säätö. Nämä hakkurit tekevät yleensä isokokoista haketta, 10...35 mm, tosin pienikokoistakin haketta, n. 5 mm, voidaan tehdä, mutta hakkuuri vaatii tällöin syöttölaitteen. Rumpuhakkurit tekevät yleensä pienikokoista haketta, 5...15 mm. Mikäli isokokoista haketta pyritään tekemään, niin tehontarve kasvaa voimakkaasti.

Taulukosta 3 nähdään hakkeen palakoon jakautuma. Karsitua leppää haketettaessa eri hakkureiden hakkeessa oli alle 5 mm pituista haketta n. 20 %, 5...15 mm haketta n. 70 %, 16...40 mm haketta n. 9 % sekä tikkuja ja oksia alle 1 %. Koska tikkujen osuus on näin vähäinen, niin tutkituilla hakkureilla voidaan tehdä karsitusta puusta hyvää haketta.

Karsimattomasta koivusta haketta tehtäessä hakkeen palakoon jakautuma on muuten samantapainen kuin karsitusta lepästäkin tehty hake, paitsi että tikkujen ja oksien osuus on selvästi suurempi. Rumpuhakkureiden, HS-500 ja HS-500 HD, hakkeessa oksia oli vähän.

Tikkuja syntyy hakkeeseen etenkin rangan loppupätkää haketettaessa, koska sillä on taipumus kääntyä poikittain syöttösuppilossa. Mikäli loppupätkän kääntyminen voitaisiin estää, niin tikkujen osuus hakkeessa vähenisi.

Karsimattoman puun haketus nykyisillä hakkureilla on yleensä valkeaa. Oksia ja tikkuja tulee hakkeeseen. Oksien pitäisi pyöriä teräkammiossa useita kertoja, jotta ne murskaantuisivat. Hakkureita tulee edelleen kehittää, jotta tikkujen ja oksien osuus hakkeessa vähenisi.

Taulukko 3. Hakekoon jakautuma painoprosenteina
Table 3. Chip size distribution as weight percentages

Hakkuri Chipper	Terän säätö Blade setting	mm	m/s	Karsittu leppä, läpimittä keskeltä 5...15 cm Bellmbed alder, diameter at middle 5...15 cm			Karsimaton koivu, läpimittä keskeltä 5...10 cm Non-bellmbed birch, diameter at middle 5...10 cm				
				Hakkeen koko Chips size			Hakkeen koko Chips size				
				(5 mm	5-15 mm	15 mm	Tikkuja Sticks	(5 mm	5-15 mm	15 mm	Tikkuja Sticks
				%			%				
Bruks 722 MT	6 9	0,25 0,35	28,5 10,1	69,0 79,6	2,3 10,2	0,2 0,1	24,7	70,9	2,6	1,8	
	6 9	0,30 0,50	20,1 6,9	74,0 73,0	5,7 20,0	0,2 0,1	7,8	80,5	9,4	2,3	
Erjo 160 T	3 6	0,20 0,80	62,0 12,2	37,5 70,1	0 17,2	0,5 0,5	24,4	67,5	4,5	3,6	
	6 13	0,25 1,00	14,9 3,4	73,2 39,7	11,1 56,1	0,8 0,8	5,3	80,1	9,4	5,2	
HS-500	6 11	0,25 0,50	25,3 24,6	70,9 70,8	3,7 4,6	0,1 0	19,0	76,0	4,7	0,3	
	3 6	0,25 0,50	32,7 19,0	66,9 78,1	0,4 2,9	0 0	23,2	70,7	5,1	1,0	
Junkkari HJ6-2R+SL 6	6 9	0,25 0,50	37,0 20,1	59,2 72,7	3,7 7,1	0,1 0,1	16,4	69,5	10,9	3,2	
	6 12	0,40 1,00	18,0 8,5	76,5 58,8	4,8 32,3	0,7 0,4	12,7	78,9	4,4	4,0	
Kopo PH-10 ¹⁾		0,30	10 x 70 x 70			10 x 50 x 60					

1) Palahakkeen keskimääräinen palakoko: paksaus, leveys, pituus, mm.
Average piecechip size : thickness, width, length, mm.

3.5 Hakkeen heittoetäisyys

Hakkeen heittoetäisyys vaihteli taulukon 4 mukaan 3... 11 m, keskimäärin se oli 7 m. Bruks 722 MT oli ainoa hakkuri, joka puhalsi hakkeen yli 10 m etäisyydelle. Tämä johtui siitä, että hakkuri oli varustettu erillisellä hakkeen puhaltimella. Hakkeen heittoetäisyys kasvaa jonkin verran kun terien säätöä suurennetaan ja puun syöttönopeutta lisätään.

Taulukko 4. Hakkeen heittoetäisyys
Table 4. Chip throwing distance

Hakkuri Chipper	Terän säätö Blade setting	Hakkeen heittoetäisyys Chip throwing distance
	mm	m
Bruks 722 MT	6	10,5
	9	11,0
Edsby 250 T	6	5,5
	9	6,5
Erjo 160 T	3	3,0
	6	8,5
Hakki 200	6	3,5
	13	6,0
HS-500	6	6,5
	11	7,0
HS-500 HD	3	8,0
	6	8,0
Junkkari HJ6-2R+SL 6	6	6,0
	9	6,0
Kopo PH-10	-	6,0
Taso	6	6,5
	12	7,0

3.6 Tuotos

Hakkureiden tuotos tehollista työtuntia kohden laskettuna riippuu haketettavasta puusta, sen lajista, laadusta, paksuudesta ja oksaisuudesta sekä hakkeen koosta ja puun syöttönopeudesta.

Isoa haketta tehtäessä tuotos on suurempi kuin pientä haketta tehtäessä. Paksua puuta haketettaessa tuotos on suurempi kuin pientä puuta haketettaessa. Mikäli tuotosta halutaan parantaa selvästi, niin tällöin myös tehontarve kasvaa. Syöttölaitteella varustettu hakkuri helpottaa työtä ja suurentaa tuotosta.

Taulukon 5 mukaan hakkureiden tuotos tehollista työtuntia kohden laskettuna vaihteli 8...33 hakekuutioon.

Taulukko 5. Tuotos
Table 5. Output

Hakkuri Chipper	Terän säätö Blade setting mm	Syöttönopeus Feeding speed m/s	Tuotos Output m ³ /min
Bruks 722 MT	6	0,20	0,13
	6	0,25	0,20
	9	0,25	0,24
	9	0,35	0,30
Edsby 250 T	6	0,30	0,28
	9	0,50	0,44
Erjo 160 T	3	0,20	0,18
	6	0,80	0,50
Hakki 200	6	0,25	0,16
	13	1,00	0,41
HS-500	6	0,25	0,13
	11	0,50	0,22
HS-500 HD	3	0,25	0,27
	3	0,50	0,29
	6	0,25	0,27
	6	0,50	0,30
Junkkar1 HJ6-2R+SL 6	6	0,25	0,15
	6	0,50	0,25
	9	0,50	0,31
	9	1,00	0,55
Kopo PH-10	-	0,30	0,46
Taso	6	0,40	0,13
	12	1,00	0,36

3.7 Teräpyörän massahitausmomentti

Hakkureiden teräpyörän massahitausmomentit, kg m^2 , olivat:

	kg m^2
Bruks 722 MT	7,7
Edsby 250 T	15,2
Erjo 160 T	4,2
Hakki 200	22,4
HS-500	9,8
HS-500 HD	9,8
Junkkari HJ 6-2R+SL 6	5,3
Kopo PH-10	1,4
Taso	3,5

Tulokset osoittavat, että niissä hakkureissa, joissa teräpyörän paino on suuri, massahitausmomentit ovat suuria. Tämä on eduksi traktorin voimansiirron kestävyyskannalta.

3.8 Ergonomia ja työturvallisuus

Syöttösuppilon pitää olla sellaisella korkeudella maasta, että puu voidaan syöttää hakkuriin hyvässä työasennossa. Esimerkiksi Bruks 722 MT-, Erjo 160 T-, HS-500- ja Taso-hakkureissa puu joudutaan nostamaan liian korkealle. Syöttösuppilon syvyys teriin tai syöttörulliin pitää olla vähintään 850 mm työturvallisuuden vuoksi. Syvyys oli riittävä vain Hakki 200-, HS-500- ja Junkkari HJ6-2R + SL 6 -hakkureissa.

Puun syöttäminen syöttölaitteella varustettuihin hakkureihin on yleensä helppoa. Sen sijaan puun syöttäminen syöttölaitteettomiin hakkureihin pientä haketta tehtäessä on

hankalaa, koska hakkuri ei vedä itse puuta, vaan sitä joudutaan koko ajan työntämään hakkuriin. Työnnön aikana kädet, puun tärinän johdosta, rasittuvat melkoisesti.

Syötön pikapysäytin, joka tarvitaan työturvallisuuden vuoksi, on vain syöttölaitteella varustetuissa hakkureissa. Näistäkin vain hydraulisella syöttölaitteella varustetuissa HS-500 HD- ja Junkkari HJ6-2R + SL 6 -hakkureissa syöttö on helposti ja nopeasti pysäytettävissä. Eräissä hakkureissa syöttösuppilossa oleva puun takaiskusuojus esti vain osittain hakkeen ja puun takaisin sinkoilun.

Hakkurin teräpyörä pitää voida lukita terien säädön ajaksi. Vain Erjo 160 T- ja Hakki 200 -hakkureissa teräpyörän lukitus oli mahdollista.

4. TULOSTEN TARKASTELUA

Beijbom ym. (1979, s. 24...27) mukaan pienpuuhakkureiden tehontarve on vähintään 30 kW (40 hv). Rumpuhakkureiden tehontarve on suurempi kuin laikkahakkureiden. Traktorin voimanottoakselin ylikuormittumisen estämiseksi ja vääntömomenttiarvojen vaihtelualueen mahdollisimman pieneksi saamiseksi pitää teräpyörän painon olla yli 200 kg kun voimanottoakselin teho on 37 kW (50 hv).

Hakkeen palakoko vaihtelee 5...50 mm. Hakkeen laadun parantamiseksi hakkuri pitää rakentaa niin, että hakkeen joukkoon ei pääse puunpalasia, tikkuja ja oksia (Beijbom ym. 1979, s. 24...27).

Kaikki edellä mainitut hakkureiden ominaisuudet ovat melko lailla samansuuntaisia tämän tutkimuksen kanssa. Tutkimuksen mukaan haketus vaatii melko paljon tehoa, > 40 kW, joten pienitehoisella traktorilla haketus on vaikeata. Statens maskinprovningarin tutkimusten mukaan Bruks -laikkahakkurin suurin tehontarve oli 42 kW (ANON. 1979).

Traktorin voimansiirron kuormittumista voidaan vähentää siten, että teräpyörän massahitausmomentti ja pyörimisnopeus ovat riittävän suuret. Äkillinen ylikuormittuminen voidaan estää nivelakselissa olevalla ylikuormitussuojalla.

Korostettakoon, että karsitusta puusta hakkurit tekevät verraten hyvää haketta, mutta karsimattomasta puusta tehdyssä hakkeessa on jonkin verran tikkuja ja oksia, jotka voivat aiheuttaa holvaantumista kattilassa. Tämän vuoksi hakkureita tulee kehittää niin, että tikkuja ei tulisi hakkeeseen. Tosin tikkuja ja oksia voidaan poistaa hakkeesta myös seulomalla.

Hakkureiden syöttösuppilon korkeus maasta ei ole aina työntekijän oikean työasennon kannalta sopiva. Joten tätä hakkureiden ominaisuutta tulee myös parantaa.

Hakkureiden koetusmenetelmä, johon sisältyvät mittojen, tehon tarpeen, vääntömomentin, melun voimakkuuden, hakkeen palakoon ja heittoetäisyyden, tuotoksen, teräpyörän massahitausmomentin sekä ergonomian ja työturvallisuuden määrittäminen, on hyvin samanlainen kuin Statens Maskinprovningarin. Tosin Statens Maskinprovningar ei ole mitannut teräpyörän massahitausmomenttia eikä vääntömomenttiarvoja (ANON, 1979). Näitä kahta viimeksi mainittua hakkurin ominaisuutta ei ole aikaisemmin myöskään Suomessa mitattu.

KIRJALLISUUTTA

1. ANON. 1976., Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitoksen, VAKOLAn, metsäkoneiden myyntitilasto, Olkkala.
2. ANON. 1979., Flishugg. Bruks-tuggen, typ 722. Meddelande 2549. Staten maskinprovningar. Uppsala, Sverige.
3. ANON. 1980., Kotitilan Lämpöhuolto-opas. Työtehoseuran julkaisu 230.
4. ANON. 1981., Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitoksen, VAKOLAn, metsäkoneiden myyntitilasto, Olkkala.
5. ANON. 1981., Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitoksen, VAKOLAn, koetusselostus n:o 1054. Hakkureiden ryhmäkoetus, Olkkala.
6. BEIJBOM, L. & NILSSON, M., 1979., Fliseldning för gårdar och småhus. SILUICONSULT. Bjärred, Sverige.

VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUKSIA

- | No | Nimi |
|----|--|
| 12 | Turtiainen, K., Chain saw vibration and vibration measurements. 1974. |
| 13 | Turtiainen, K., Preliminary survey of the back complains of men who have driven tractors in forest work. 1974. |
| 14 | Ahokas, J., Altonen, M., Tutkimus maataloustraktorin veto-voimasta. 1975. |
| 15 | Hahlmän, A., Ahokas, J., Tutkimus maataloustraktorin täri-nästä ja heilunnasta. 1978. |
| 16 | Hyvärinen, H., Ahokas, J., Runko-ohjattavien metsäkonei-den stabilisuus. 1978. |
| 17 | Turtiainen, K., Kyselytutkimus monitoimikoneen kuljetta-jien työn rasittavuudesta ja työviihtyvyydestä. 1978. |
| 18 | Turtiainen, K., Vertailututkimus metsurin työhousujen viiltosuojainten kestävyystutkimuksissa käytetyistä tut-kimusmenetelmistä. 1979. |
| 19 | Piltti, M., Energian säästö ja kotimaisten polttoaineiden käyttö viljan kuivauksessa. 1979. |
| 20 | Kara, O., Räisänen, L., Maanmuokkauksen minimointi ja kylvö- ja lannoitusvantaiden soveltuvuus kyntämättömään maahan. 1979. |
| 21 | Ketola, T., Kotimaiset polttoaineet, kattilat ja kattiloi-den koetusmenetelmä. 1979. |

- 22 Parmala, S-P., Puukaasu moottoriajoneuvojen polttoaineenä. 1980.
- 23 Kiviniemi, J., Pokki, J., Oksanen, E.H., Turkkila, K., Nurmisäilörehun valmistuksen ja käsittelyn tekniikka. 1980.
- 24 Parmala, S-P., Polttomoottorien varustaminen kotimaisten polttoaineiden käyttöön soveltuviksi. 1980.
- 25 Kara, O., Heikkilä, H., Itujen vaurioituminen idätetyn perunan koneellisessa istutuksessa. 1982.
- 26 Ahokas, J., Salminen, R., Agricultural Tractor Hitch-hook loading and location. 1981.
- 27 Salminen, R., Turtiainen, K., Metsätraktorin heilunnan mittausmenetelmän kehittäminen. 1982.
- 28 Haber, P., Näkyvyys traktorista. 1982.
- 29 Olkinuora, P., Esala, J., Aurasalaojituksen käyttömahdollisuudet. 1982.
- 30 Ahokas, J., Ståhlberg, P., Maaskola, I., Olki polttoaineenä. 1983.
- 31 Ahokas, J., Koivisto, K., Energiansäästö viljankuivauksessa. 1983.
- 32 Mäkelä, O., Ahokas, J., Suurinkeroinen, J., Kotimainen polttoaine viljankuivauksessa. 1983.
- 33 Ahokas, J., Energiantuotanto maatilatalouden omista energialähteistä. 1983.
- 34 Sinisalo, R., Avomaavihannesten lannoitus- ja kastelukokeita. 1983.

